

## EFISIENSI DAN EFEKTIFITAS SERTA KINETIKA ELEKTROKOAGULASI PENGOLAHAN LIMBAH SAGU AREN

Sutanto<sup>1)</sup>, Ani Iryani<sup>2)</sup>, dan Sarahwati<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Kimia FMIPA Universitas Pakuan, Bogor

e-mail : [sutanto@unpak.ac.id](mailto:sutanto@unpak.ac.id)

### ABSTRACT

The processing of palm sago into flour produces unsightly brownish wastewater with high COD and TSS values and very low DO. Waste treatment to reduce waste parameter values can be done one of them by electrocoagulation method. This study was conducted to determine the effectiveness of processing sago wastewater by electrocoagulation and decreasing kinetics of TSS and COD. Electrocoagulation batch system was carried out using 5 x 10 cm aluminum electrode, 3 cm electrode distance. Application of voltage variations: 15; 18; and 20 volts with electrocoagulation time variation 15; 30; and 60 minutes. The results showed that the best electrocoagulation at 18 volts and 60 minutes time, namely the efficiency of reducing TSS and COD values respectively 89.17% and 58.28%, and can increase the DO value from 2.5 to 6.8 mg / L The kinetics of decreasing TSS and COD follow the one order with a constant decrease of respectively - 0.012 and -0.013 per minute.

**Key words:** Electrocoagulation, palm sago liquid waste, TSS, COD

### PENDAHULUAN

Salah satu tahapan penting pengolahan limbah cair adalah tahap koagulasi. Pada tahapan ini polutan dalam air yang bersifat stabil di buat menjadi tidak stabil dengan cara menghilangkan muatannya. Dengan kehilangan muatan, partikel polutan akan mudah membentuk flok dan mengendap. Untuk menghilangkan muatan dan pembentukan flok digunakan zat kimia sebagai koagulan dan zat kimia sebagai flokulan. Alum sulfat dan polialuminium klorida adalah contoh koagulan dan flokulan (Manahan, 2005) yang sering digunakan/ditambahkan kedalam air limbah untuk mengendapkan partikel koloid dalam pengolahan limbah. Selain dari Alum sulfat, besi sulfat dan besi klorida lazim sebagai koagulan (Ukiwel *et al.*, 2014).

Metoda pengolah limbah cair yang sering digunakan adalah metoda elektrokoagulasi. Pengolahan secara elektrokoagulasi dilakukan dengan pertimbangan diantaranya adalah: teknik yang sederhana; tidak memerlukan bahan kimia; cukup

mudah dan murah, serta tidak memerlukan tempat yang luas, dan juga ramah lingkungan (UkiweL *et al.*, 2014).

Elektrokoagulas - elektroflotasi (ECF) yaitu pemberian arus listrik pada proses pengolahan limbah untuk koagulasi dan flokulasi (Butler *et al.*, 2011). Metoda elektrokoagulasi meniadakan penambahan bahan kimia sebagai koagulan dan flokulan, akan tetapi koagulan dibangkitkan dengan cara elektrolisis. Elektrokoagulation terdiri dari satu atau lebih pasang lembaran (plat) logam yang disebut elektroda (katoda dan anoda) dan ditempatkan dalam suatu wadah yang berisi limbah, kemudian dialiri listrik. Elektroda dapat berupa plat besi, plat aluminium, plat titanium ( ), baja nirkarat (Gameissa *et al.*, 2012). Berdasarkan prinsip elektrokimia, anoda akan teroksidasi (kehilangan elektron), sedangkan pada katoda akan terjadi reduksi air. Jika digunakan elektroda aluminium (Al), pada anoda akan terjadi oksidasi Al, maka akan terbentuk koagulan berupa ion

Efisiensi Dan Efektifitas Serta Kinetika Elektrokoagulasi ..... (Sutanto, dkk)

$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ , atau spesi aluminium yang lain.

Pada elektrokoagulasi dengan menggunakan elektroda Aluminium akan terjadi reaksi sebagai berikut:

Pada anoda:  $\text{Al}_{(s)} \rightarrow \text{Al}_{(aq)}^{3+} + 3e^-$   
 Pada katoda:  $3\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow 3/2 \text{H}_2 + 3\text{OH}^-$  Ion  $\text{Al}^{3+}$  selanjutnya mengalami hidrolisis membentuk  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ;  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}_2^+$ ;  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ ;  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ;  $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$ ; ,  $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$  dan polialuminium ion lainnya (Chaturvedi, 2013). Ion-ion ini akan menetralkan muatan polutan dalam air limbah dan membentuk agregat. Agregat tidak akan mengendap tetapi akan mengapung akibat dorongan keatas oleh gas  $\text{H}_2$  yang terbentuk selama elektrokoagulasi.

Jumlah reaksi kimia untuk menghasilkan koagulan tergantung kepada jumlah listrik yang dialirkan, sebagaimana dirumuskan oleh hukum Faraday (Bard & Larry, 1980). Jumlah listrik yang dialirkan antara dua elektroda, tergantung kepada kuat arus yang mengalir dan lama waktu arus mengalir. Kuat arus yang dapat dialirkan sangat tergantung kepada daya hantar listrik larutan, serta tegangan listrik yang diterapkan. Dengan demikian air limbah yang berbeda akan memiliki sifat hantaran listrik yang berbeda, dan oleh karenanya memerlukan penerapan tegangan listrik yang berbeda untuk dapat mengalirkan listrik yang sama.

Industri tepung sagu aren (*Arenga pinnata Wurmb*) mengolah inti batang aren menjadi tepung. Batang aren dipotong-potong menjadi 1-2 meter, kemudian dibelah dan bagian dalamnya diparut dengan bantuan air sehingga diperoleh bubur serbuk batang baren. Selanjutnya bubur disaring secara manual dan diperoleh endapan pati aren. Pati aren selanjutnya dilakukan pemutihan dengan larutan kaporit, selanjutnya pati dikeringkan digiling dan diayak (Firdayani & Handayani, 2005). Proses pamarutan, pengendapan dan pemutihan memerlukan Efisiensi Dan Efektifitas Serta Kinetika Elektrokoagulasi ..... (Sutanto, dkk)

banyak air, sehingga menghasilkan limbah cair. Menurut Permenlh no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu limbah bagi usaha dan/atau kegiatan /usaha industri tapioka, nilai TSS dan COD limbah masing-masing 100 mg/L dan 300 mg/L. Karakteristik limbah cair sagu mencapai nilai TSS 720 mg/L dan COD 4231 mg/L (Firdayani & Handayani, 2005), maka limbah cair ini perlu diolah sebelum dibuang ke badan air.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efektifitas metoda elektrokoagulasi pada pengolahan limbah cair industri tepung sagu aren, dan mempelajari kinetika penurunan nilai TSS dan COD. Efektifitas pengolahan dievaluasi berdasarkan parameter baku menurut Permenlh no. 5 tahun 2014 Lampiran V.

## BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ;  $\text{AgSO}_4$ ; KHP,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , KCl; larutan buffer pH 4, 7 dan 10; air suling, serta kertas saring. Alat yang digunakan adalah gelas piala 1 L; 2 lembar plat aluminium ukuran 5 x 20 cm; sumber arus listrik searah 15-20 volt; kabel penghubung; penjepit buaya; neraca analitik; pH meter; DO meter; Konduktometer; Spektrofotometer, oven; reaktor COD, alat refluks; labu takar 100 mL; pipet tetes; pipel volumetri; dan peralatan gelas pendukung lainnya. Sampel air limbah industri pengolahan sagu di Kelurahan Tanah Baru, Kota Bogor

## Metoda Penelitian

Air limbah sagu dianalisis untuk parameter pH; TSS; COD; DO; dan DHL. Selanjutnya air limbah ditempatkan pada gelas piala 1 Liter sebanyak 500 mL dan kedalam dimasukkan dua lembar pelat aluminium 5 x 10 cm (efektif tercelup). Kemudian dilakukan elektrokoagulasi dengan cara memberikan listrik searah kepada sepasang elektroda (dua lembar plat Al) yang berjarak 3 cm dengan variasi tegangan listrik 15; 18; dan 20 volt, dengan variasi waktu elektrokoagulasi pada setiap

tegangan listrik 15; 30; dan 60 menit, setiap percobaan diulang dua kali, sehingga terdapat 18 percobaan. Kualitas air hasil elektrokoagulasi dianalisis untuk parameter yang sama. Selanjutnya data perubahan kualitas setiap parameter diplot terhadap waktu untuk menemukan waktu dan tegangan listrik terbaik. TSS dianalisis secara gravimetri, COD dianalisis secara refluks dan spektrofotometri pada 600 nm, DO dan pH diukur secara elektrometri. Data TSS dan COD dikaji kinetiknya menurut reaksi order satu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kualitas Air Limbah Pengolahan Sagu

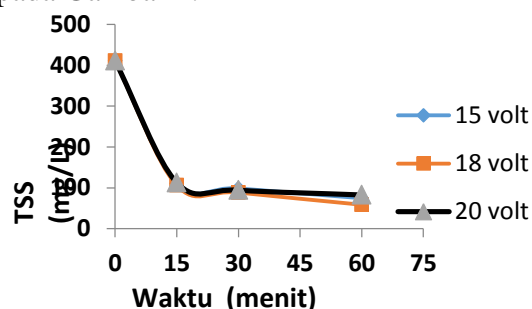
Karakteristik air limbah pengolahan sagu dan dibandingkan dengan baku mutu air limbah menurut Permenlh no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu limbah bagi usaha dan/atau kegiatan /usaha industri tapioka, yaitu kegiatan sejenis disampaikan pada Tabel 1 sebagai berikut: Berdasarkan Tabel 1 tersebut menunjukkan bahwa parameter uji yang dibakukan yaitu meliputi derajat keasaman (pH), kandungan padatan terlarut total (TSS = total *suspended solid*), kebutuhan oksigen kimiawi (COD = *chemical oxygen demand*) tidak memenuhi baku mutu. Parameter oksigen terlarut (DO= *dissolve oxygen*) yang sangat rendah yaitu 2,5 mg/L disebabkan oleh tingginya kandungan polutan organik dalam air limbah yang diwakili oleh nilai COD. Tingginya nilai COD disebabkan limbah cair peng-olahan sagu banyak mengandung zat organik sebagai ikutan hasil proses pemerasan sagu. Tingginya nilai TSS disebabkan zat organik tersebut tidak larut dan membentuk suspensi. Menurut Firdayanti & Handayani (2005), nilai TSS dan COD limbah cair industri tepung aren dapat mencapai 720 mg/L dan 4231 mg/L. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh kapasitas produksi yang berbeda.

### Hasil Pengolahan Limbah

Efisiensi Dan Efektifitas Serta Kinetika Elektrokoagulasi ..... (Sutanto, dkk)

### Penurunan TSS

Penerapan tegangan listrik pada berbagai voltase dan lama waktu elektrokoagulasi dapat menurunkan TSS hingga dibawah baku mutu kualitas air limbah sagu yang dipersyaratkan (100 mg/L). Pola perubahan nilai TSS disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Pola perubahan penurunan nilai TSS

Pada waktu 0 hingga 15 menit, penurunan TSS sangat cepat dan tidak nampak berbeda antara penerapan tegangan listrik 15, 18, dan 20 volt. Namun demikian setelah lebih dari 30 menit elektrokoagulasi dilaksanakan, penerapan tegangan listrik 15 dan 20 volt tidak nampak merubah nilai TSS, sedangkan padan penerapan 18 volt masih nampak penurunan TSS hingga 60 menit. Meskipun demikian penerapan ketiga tegangan listrik pada waktu elektrokoagulasi 60 menit dapat menurunkan TSS hingga cukup jauh dibawah baku mutu. Penerapan 18 volt menurunkan TSS dari 410 mg/L menjadi 44,4 mg/L, yaitu terjadi penurunan sebesar 89,17%. Menurut Alex (2015), elektrokoagulasi air limbah perkotaan diperoleh kondisi terbaik pada 10 Volt jarak elektroda 2 cm, selama 25 menit, dapat menurunkan TSS dari 332 mg/L menjadi 64 mg/L (61,38%). Menurut Gameissa et al. (2012), efisiensi penurunan TSS pada limbah Industri pangan pada 24 volt, selama 60 menit elektroda stainless steel mencapai 88,02%. Menurut Bukhari penurunan TSS dapat mencapai 95.4% dengan arus 0,8 A dan waktu kontak 5

menit jika menggunakan elektroda stainless steel (Butler *et al.* 2011).

**Tabel 1.** Karakteristik Limbah Cair Pengolahan sagu

No.	Parameter uji	satuan	Baku Mutu*	Hasil analisis
1.	pH	-	6,0 – 9,0	4,80
2.	TSS	mg/L	100	410,8
3.	COD	mg/L	300	1335,05
4.	DO	mg/L	-	2,5
5.	DHL	μS	-	633,0

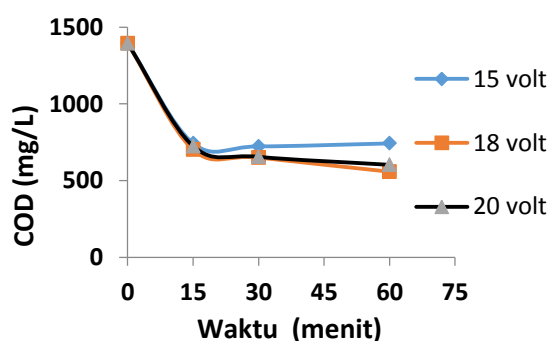
\*Permenlh No. 5 tahun 2014 Lampiran V

Pada percobaan elektrokoagulasi ini arus maksimum yang dapat mengalir adalah hanya 0,25 A. Perbedaan penerapan tegangan listrik dan waktu elektrokoagulasi menyebabkan perbedaan prosentase penurunan nilai TSS.

### Penurunan COD

Pola perubahan nilai COD selama elektrokoagulasi seiring dengan pola perubahan TSS, yaitu menurun dengan cepat pada menit ke 15 dan selanjutnya terjadi penurunan sangat lambat. Hal ini disebabkan setelah 15 menit berlangsung jumlah zat organik dalam larutan sudah sangat berkurang, artinya jumlah polutan awal menentukan laju penurunan nilai COD. Gambar 2 memperlihatkan pola perubahan penurunan COD selama elektrokoagulasi. Penurunan terbaik COD dari ketiga penerapan tegangan listrik dan lama waktu elektrokoagulasi adalah pada penerapan 18 volt dan waktu 60 menit. Pada kondisi terbaik ini dapat menurunkan COD dari 1335,05 mg/L menjadi 557 mg/L yaitu terjadi penurunan sebesar 58,28%. Penelitian Alan (2015) dapat menurunkan COD sebesar 80,70% untuk air limbah perkotaan. Perbedaan ini terjadi karena jenis air limbah, penerapan voltase dan lama waktu elektrokoagulasi yang berbeda. Hasil akhir pengolahan limbah selama 60

menit belum dapat menurunkan COD sampai dibawah baku mutu yang dipersyaratkan (300 mg/L). Menurut Hanum dkk (2015) hasil terbaik elektrokoagulasi limbah sawit diperoleh pada tegangan 5 volt untuk penurunan COD sebesar 81,32 % dengan waktu pengolahan 180 menit. Dengan elektroda stainless steel, pada 24 volt selama 60 menit untuk limbah industri pangan, dapat menurunkan COD 77,78% (Gameissa *et al.*, 2012). Menurut Setyaningrum *et al.* (2017) jarak antar elektrode 2 cm dan tegangan listrik 10 volt pengolahan limbah zat warna dapat menurunkan konsentrasi COD mula-mula 428 mg/L menjadi 54 mg/L, penurunan TSS mula-mula 850 mg/L menjadi 277 mg/L. Berdasarkan hasil-hasil penelitian tersebut bahwa perbedaan penerapan tegangan listrik, jenis limbah, dan waktu serta elektroda yang digunakan dapat menghasilkan efisiensi penurunan COD yang berbeda.



**Gambar 2.** Pola perubahan penurunan COD

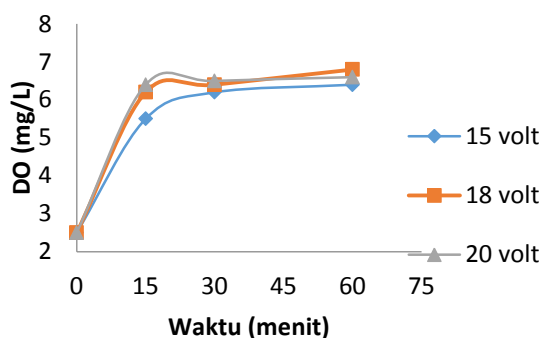
### Peningkatan DO

Oksigen terlarut (DO) meskipun tidak dipersyaratkan dalam baku mutu air limbah tetapi sangat penting diketahui berkaitan dengan jumlah polutan organik dalam air limbah. Semakin banyak jumlah polutan organik, oksigen terlarut semakin sedikit disebabkan oksigen digunakan oleh mikroba untuk mendegradasi limbah. Air jernih dapat mengandung oksigen terlarut mencapai 8 mg/L tergantung kepada suhu

Efisiensi Dan Efektifitas Serta Kinetika Elektrokoagulasi ..... (Sutanto, dkk)

air (Connel & Miller, 1995). Perairan umum yang tidak tercemar mengandung DO >5 mg/L.

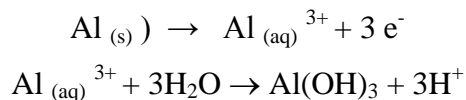
Hasil elektrokoagulasi limbah cair pengolahan sagu dapat menaikkan oksigen terlarut. Gambar 3 memperlihatkan pola perubahan peningkatan DO > 5 mg/L. Meningkatnya DO seiring dengan menurunnya TSS dan COD, yaitu meningkat cepat pada waktu 0-15 menit dan peningkatan lambat pada 15 – 60 menit. Lambatnya peningkatan oksigen terlarut dikarenakan keterbatasan kelarutan oksigen dalam air. Pada suhu 25°C kelarutan oksigen hanya mencapai 8 mg/L (Connel & Miller, 1995)



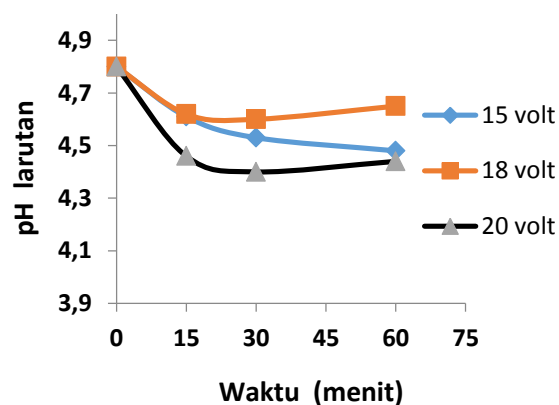
**Gambar 3.** Pola perubahan peningkatan DO

#### Perubahan pH larutan

Selama elektrokoagulasi berlangsung terjadi oksidasi pada anoda menghasilkan ion  $Al^{3+}$ , dan ini akan terhidrolisis menghasilkan ion  $H^+$  berdasarkan reaksi:



Reaksi ini menyebabkan meningkatnya konsentrasi ion  $H^+$  dalam larutan sehingga pH larutan menurun. Gambar 4. memperlihatkan pola perubahan penurunan pH larutan.

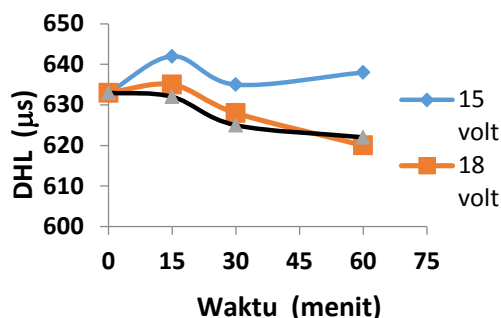


**Gambar 4.** Pola perubahan penurunan pH

Perubahan konsentrasi ion  $H^+$  selaras dengan banyaknya ion  $Al^{3+}$  yang terhidrolisis. Jumlah  $Al^{3+}$  yang terbentuk berbanding dengan jumlah listrik yang mengalir. Pada pemberian tegangan listrik 20 volt, arus meningkat dari 0,27 Amper pada 15 menit menjadi 0,30 Amper pada 30 menit, sementara itu pada pemberian tegangan 18 volt, arus hanya meningkat dari 0,24 Amper pada 15 menit menjadi 0,25 Amper pada 60 menit.

#### Perubahan Daya Hantar Listrik Larutan

Perubahan daya hantar listrik (DHL) air limbah diperlihatkan pada Gambar 5. Pada pemberian tegangan listrik 15 volt, DHL cenderung meningkat, berbeda dengan pemberian tegangan listrik 18 dan 20 volt yang menyebabkan DHL cenderung terus menurun. Pada pemberian tegangan 15 volt, elektrolisis Al berlangsung sehingga jumlah  $Al^{3+}$  dan hasil hidrolisisnya meningkat tetapi mungkin belum cukup efektif mengendapkan polutan organik sehingga sebagian besar masih dapat berkontribusi menghantarkan arus listrik. Pada pemberian tegangan listrik 18 dan 20 volt menyebabkan DHL terus menurun dapat disebabkan sebagian besar ion ikut terflokulasi sehingga ion penghantar listrik dalam larutan semakin berkurang.



**Gambar 5.** Perubahan DHL larutan air limbah selama elektrokoagulasi

### Efisiensi dan Efektifitas Pengolahan

Efisiensi elektrokoagulasi dalam hal ini dihitung seberapa besar teknik ini mampu menurunkan konsentrasi polutan, dinyatakan dalam persen. Efektifitas elektrokoagulasi dilihat apakah air limbah hasil memenuhi baku mutu berdasarkan Permenlh no 5 tahun 2014 lampiran V, yaitu TSS 100 mg/L dan COD 300 mg/L, dengan DO sebagai data pendukung. Berdasarkan data grafik pada Gambar 1 dan 2 diperoleh kondisi elektrokoagulasi terbaik adalah pada penerapan ntegangan listrik 18 volt dan lama waktu 60 menit. Tabel 2 memperlihatkan rangkuman hasil evaluasi efisiensi dan efektifitas pengolahan air limbah sagu aren secara elektrokoagulasi.

### Kinetika Penurunan TSS dan COD

Kinetika penurunann kadar atau penghilangan TSS dan COD dapat didekati dengan model persamaan order satu. Hal didasarkan bahwa konsentrasi polutan yang

paling berpengaruh terhadap persamaan laju. Persamaan laju penurunan dapat di ungkapkan sebagai berikut:

A → B. Persamaan laju order satu adalah:

$$\frac{d[A]}{dt} = k [A] \quad \text{atau} \quad \frac{d[A]}{[A]} = k t$$

Hasil integrasinya adalah :

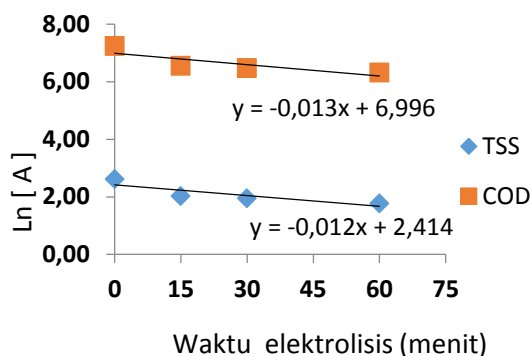
$\ln [A]_t = \ln [A]_0 - kt$  . Persamaan ini merupakan persamaan linier tiper  $Y = a - bx$ , dengan  $Y = \ln [A]_t$  dan kemiringan garis merupakan harga  $k$  yaitu konstanta laju penurunan konsentrasi TSS atau COD. Gambar 6 memperlihatkan plot  $\ln$  TSS dan  $\ln$  COD terhadap waktu atau lamanya elektrokoagulasi, berdasarkan data elektrokoagulasi terbaik yang terpilih yaitu pada penerapan tegangan listrik 18 volt. Nilai  $k$  untuk TSS sebesar - 0,012 per menit dan  $k$  untuk COD adalah - 0,013 permenit. Artinya, konsentrasi TSS berkurang sebesar 0,012 per menit dan COD berkurang 0,013 per menit. Persamaan COD,  $y = -0,013x + 6,996$  dapat digunakan untuk menghitung waktu elektrokoagulasi yang diperlukan agar penurunan COD efektif mencapai dibawah baku-mutu < 300 mg/L. Dengan memasukan angka  $\ln 300$  (5,704) pada sumbu Y persamaan tersebut diperoleh waktu efektif ( $x$ ) penurunan COD sebesar 100 menit. Dengan demikian elektrokoagulasi dapat diperpanjang waktunya minimal 100 menit agar memenuhi efektifitas penurunan COD.

**Tabel 2.** Efisiensi dan efektifitas pengolahan air limbah sagu aren Secara elektrokoagulasi pada 18 volt selama 60 menit.

No.	Parameter	satuan	Sebelum diolah	Sesudah diolah	Efisiensi %	keterangan
1.	TSS	mg/L	410,8	58,6	89,17	efektif
2.	COD	mg/L	1335,05	551,05	58,6	Belum efektif
3.	DO	mg/L	2,5	6,8	-	efektif

Efisiensi Dan Efektifitas Serta Kinetika Elektrokoagulasi ..... (Sutanto, dkk)





**Gambar 6.** Plotk ln TSS dan Ln COD versus waktu elektrokoagulasi

## SIMPULAN

Pengolahan limbah cair sagu aren secara elektrokoagulasi dapat menurunkan TSS dan COD dengan efisiensi penurunan masing-masing sebesar 85,74 % dan 58,6 %, pada penerapan voltase 18 volt dan waktu 60 menit. Pengolahan ini efektif untuk menurunkan TSS tetapi belum efektif menurunkan COD. Kinetika penurunan TSS dan COD mengikuti order satu dengan konstanta penurunan masing-masing -0,012 dan 0,013 per menit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alex A, 2015 , Municipal Wastewater Treatment By Electrocoagulation, *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, 3,(5) : 62-65
- Bard A J & Larry R F, 1980, *Electrochemical Methods, Fundamental and Application*, John Wiley & Son, New York.
- Butler E, Yung-T H, Ruth Yu-Li Y, and Mohammed Suleiman A A, 2011, Elec-trocoagulation in Wastewater Treatment, *Water* , 3: 495-525; doi:10.3390/ w3020495
- Chaturvedi S. I., 2013, Electrocoagulation: A Novel Waste Water Treatment Method, *International Journal of*
- Modern Engineering Research (IJMER)*, 3(1): 93-100
- Connel D W & G J Miller, 1995, *Kimia dan Toksikologi Pencemaran*, a.b. Yanti Koestoer, UI-Press, Jakarta
- Firdayanti M & Handayani, 2005, Studi Karakteristik Dasar Pengolahan Limbah Industri Tepung Aren, *Journal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan*, 1(2): 10-18
- Hanum Farida, Rondang Tambun, M. Yusuf Ritonga, William Wardhana Kasim, 2015, Aplikasi Elektrokoagulasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4 (4) : 13-17.
- Gameissa M W, Suprihatin, Nastiti S I, 2012, Pengolahan tersier Limbah Cair Industri Pangan Dengan Teknik Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Stainless Steel, *Agro Industri Indonesia*, 1(1): 31-37
- Manahan S E, 1994, *Environmental Chemistry*, 6th ed. Lewis Publisher, Boca Raton.
- Permenlh no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu limbah bagi usaha dan/atau kegiatan /usaha industri tapioka,
- Ukiwel.N., Ibeneme S.I, Duru C.E., Okolue B.N., Onyedika G.O. &Nweze C.A., 2014, Chemical and Electrocoagulation Techniques in Coagulation-Floculation water and Wastewater Treatment-a review, *IJRRAS* 18 (3) : 285-294
- Setianingrum N P, , Agus P, dan Sarto, 2017, Pengurangan Zat Warna Remazol Red Rb Menggunakan Metode Elektro-koagulasi secara Batch, *Jurnal Rekayasa Proses*. 11 (2): 78-85